

技術資料

UDC 621.783.2

鋼片加熱炉および鋼材熱処理炉の進歩

井 藤 一 禧\*\*・後 藤 和 之\*\*

Development of Heating Furnace for Billet and Heat Treating Furnace for Steel

Ichiki Iro and Kazuyuki Goro

1. ま え が き

最近のわが国の鉄鋼生産量は著しく、昭和47年の粗鋼生産量は遂に1億tを越えることになり、昭和35年当時の実に4.5倍にも達することになった。生産規模は非常に大型化し、また製造技術の進歩にともない製品の品質向上も著しいものである。この間、圧延部門の第一工程である鋼片の加熱炉、および仕上げ工程における熱処理炉についても同様で、その大型化、品質向上、および省力化など技術改善に努力がはらわれ今日にいたっている。つぎにこれらの諸設備の最近の傾向について述べる。

2. 鋼片用加熱炉

2.1 鋼片用加熱炉の推移

昭和30年代の前半、わが国のホットストリップ・ミルが本格的に稼働し始めた頃の鋼片用加熱炉は、能力が約100t/hr程度の上下3带式プッシュ加熱炉が、その大部分を占めていた。その後、圧延機能力は大幅に増大し、それにしたがって加熱炉能力も増大が要求され、最近では300~350t/hrと非常に大形のものになった。図1にホットストリップ用加熱炉の建設年次別の加熱能力の推移を示す。図でわかるように、加熱能力増大にともない、従来の3带式から5带式の加熱炉が38年頃より建設され、炉床負荷を上げることによつて限られたスペース内で能力を増強、加熱能力も200~250t/hrとなった。さらに42年に大形ウォーキングビーム式加熱炉が建設され、炉内において大形スラブの搬送が自由に行えるようになり、炉の大型化が非常に容易になった。したがって、従来のプッシュ式に代わつてウォーキングビーム式が多く採用され、能力も350t/hr以上のものが建設されるようになった。最近の5年間(43年~47年)に、主要製鉄所にて新設された鋼片用加熱炉の主な

仕様を表1に示す。いずれも加熱能力は非常に大型化し、炉の形式はウォーキングビーム式、ウォーキングハウス式が多く、プッシュ式でも水冷スキッドによるスキッドマーク対策を考慮し、ホットスキッドタイプが採用されるようになった。とくにウォーキングビーム式は、その建設基数において世界の過半数をわが国が占めている。

2.2 加熱炉の形式

現在一般に使用されている鋼片用加熱炉を、鋼片の搬送形式から分類するとつぎのようになる。

- 連続式加熱炉 {
  - プッシュ式
  - ウォーキングビーム式
  - ウォーキングハウス式
  - 回転炉床式
  - ローラハウス式
- バッチ式加熱炉 {
  - 固定炉床式
  - 台車式

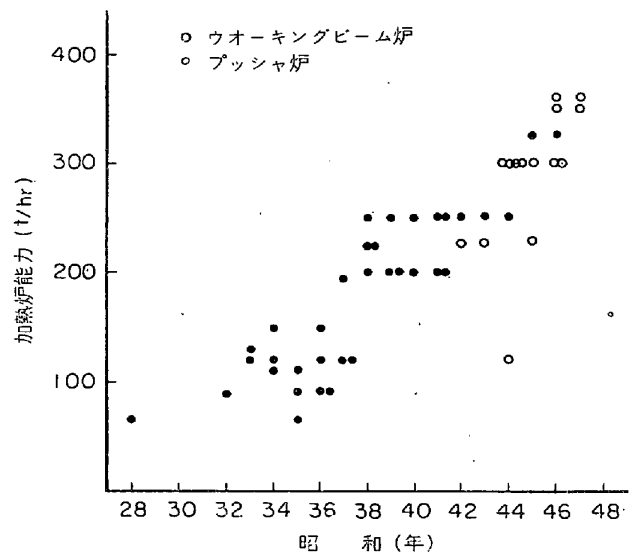


図1 年次別ホットストリップ用加熱炉の能力推移

\* 昭和48年5月25日受付 (依頼技術資料)  
 \*\* 大同製鋼(株)

表 1 最近の主要鋼片用加熱炉 (昭和43年~47年に建設されたもの)

設備工場	製鉄所名	加熱能力 t/hr	炉形式*	基数	炉内寸法 (有効長 ×炉内幅) M M	レキュペレータ		燃 料
						形 式	予熱空気 温度 °C	
ホットスト リップ工場	新日本製鉄君津	300	WB	3	40.0×13.4	スタック式	500	Mガス, 重油
	新日本製鉄名古屋	225	WB	2	30.7×9.8	スタック式	500	Mガス
	新日本製鉄広畑	120	WB	1	28.6×6.3	スタック式	450	Mガス, 重油
	新日本製鉄大分	350	WB	2	38.5×14.0	スタック式 (スタイン式)	450	Mガス, 重油
	川崎製鉄水島	325	HSP	2	32.0×12.9	多管式	500	Mガス, 重油
	日本鋼管福山	250	P	2	32.0×9.8	スタック式	450	Mガス, 重油
	日本鋼管福山	300	WB	2	39.7×9.8	多管式	475	Mガス, 重油
	住友金属鹿島	300	WB	3	37.0×10.8	スタック式	400	Cガス, Mガス 重油
	神戸製鋼加古川	360	WB	1	35.0×12.8	多管式	400	重油
	厚板工場	新日本製鉄君津	150	HSP	1	25.4×9.0	多管式	400
新日本製鉄君津		175	HSP	1	29.0×9.0	多管式	400	重油
新日本製鉄名古屋		200	WB	2	31.7×9.0	スタック式	450	Mガス
川崎製鉄水島		200	WB	1	27.5×9.0	スタック式	380	Mガス
川崎製鉄千葉		170	HSP	1	31.0×7.7	多管式	450	Mガス, 重油
日本鋼管福山		150	P	2	33.1×7.3	スタック式	450	Mガス, 重油
佐友金属鹿島		200	WB	2	31.9×9.0	多管式	415	Cガス, Mガス 重油
神戸製鋼加古川		120	WB	2	25.5×8.2	多管式	480	重油
形鋼工場	新日本製鉄堺	150	WB	1	22.5×11.2	多管式	400	重油
	新日本製鉄八幡	110	WB	2	19.3×12.8	スタック式	450	重油
	新日本製鉄君津	170	WB	1	30.0×10.7	多管式	450	重油
	新日本製鉄釜石	130	WB	1	24.0×8.0	多管式	450	Mガス
	川崎製鉄水島	150	WB	1	24.4×11.2	スタック式	400	Mガス, 重油
	川崎製鉄水島	220	WB	1	37.7×11.2	スタック式	400	Mガス
	川崎製鉄水島	150	WB	2	24.3×11.4	多管式	400	重油
	日本鋼管福山	150	WB	2	25.0×10.8	スタック式	500	Mガス
	日本鋼管福山	150	WB	1	23.5×10.7	多管式	400	重油
	棒鋼, 線材 工場	新日本製鉄室蘭	85	WH	1	20.7×12.8	多管式	400
新日本製鉄君津		185	P	1	22.0×18.9	多管式	400	Cガス
川崎製鉄水島		150	WB	1	17.0×13.8	多管式	400	重油
住友金属小倉		150	WH	1	22.0×18.0	多管式	300	重油
神戸製鉄神戸		80	WH	1	16.8×12.6	多管式	350	重油
神戸製鉄加古川		180	WH	1	24.6×22.3	多管式	375	重油
大同製鋼知多		75	WH	1	17.6×12.3	多管式	350	重油

注\* WB : ウォーキングビーム式  
WH : ウォーキングハース式  
HSP : ホットスキッドプッシュ式  
P : プッシュ式

従来の水冷スキッドを有するプッシュ式加熱炉は、炉内の鋼片の搬送上、つぎのような種々の問題があった。

(1) 水冷スキッドによるスキッドマークの解消が困難。

(2) すり疵が多い。

(3) 大形化の場合、炉内にて鋼片のバックリングが生じやすく、炉長に制限を受ける。

(4) 炉内の鋼片を自由に搬送できないため、空炉にすることが困難。

(5) 均熱炉床保守の頻度が多い。

これらプッシュ式の本質的な問題点の解決策として、近年ウォーキングビーム式が採用されるにいたつた。その大きな特徴は、

(1) 自力で炉内の鋼片を自由に搬送できる。

(2) 鋼片の間を適当な間隔であけて搬送できる。

の2点にある。このため、各種サイズの鋼片を自由に送ることができ、バックリングの心配がなくなり、炉長を自由に長くすることができる。また容易に空炉にできることにより、保守点検が楽になり、かつ、保守の多い均熱炉床も不要となつた。なお鋼片の間をあけることにより、鋼片の受熱面積が増加し、ブルーム、ビレットなどの角形鋼片では加熱時間が大幅に短縮され、スケールの発生量も少なくなる。

鋼片断面積の小さいビレット加熱用の上部燃焼式プッシュ炉についても、同様な特長を有するウォーキングハース式加熱炉に代わりつつある。ウォーキングビーム式

表 2 ウォーキングビーム炉とウォーキングハース炉との比較

項 目	ウォーキングビーム式	ウォーキングハース式
1 2	加熱方式 搬送機構	上下部燃焼加熱 水冷ビーム上の耐熱鋼製レール面で支持し搬送する 最小限移動、固定各ビーム2本ずつ必要
3	加熱条件	上部燃焼加熱 耐火物構造炉床面で支持し搬送する 最小限移動炉床は1列でよい
4	加熱鋼片寸法	スラブでは2面加熱 ブルーム、ピレットでは4面加熱となり加熱時間が短い スラブでは1面加熱 ブルーム、ピレットでは3面加熱となる
5 6 7	燃料原単位 冷却水量 炉内における鋼片の変形	ブルーム、ピレットの加熱に適す ウォーキングビーム式より短い鋼片でも搬送が可能 良い 少ない 床全面で支持するので過熱時の垂れはない
8 9	鋼片支持面の損傷 炉の基礎深さ	悪い 多い ビームのみの支持によるので過熱時に垂れ曲りを生じやすい 金属製のため損傷少ない 深い 耐火物のため摩耗損傷が早い 浅い

がプッシュ式に比較して、熱量原単位が高いのに対し、ウォーキングハース式は低く、ピレットの加熱に適している。表2にウォーキングビーム炉とウォーキングハース炉の比較を示す。

一方、従来のプッシュ式も、ウォーキングビーム式に比較して、水冷ビームの本数が少ないため、比較的短い鋼片の搬速が可能であり、また熱量原単位も低いので捨てがたく、その欠点であるスキッドマークを、後述するようなホットスキッドタイプにして低減することによって、引続き採用されている。

回転炉床式加熱炉は、大形のは製管用、小形のは鑄造用として広く使用され、鋼片の形状が丸状、あるいは短尺物などと、上述の一般加熱炉で搬速加熱が困難な場合に適した炉である。水冷部分も少なく熱量原単位も非常によい。

ローラハース式は、比較的長尺の鋼片の搬送加熱に適し、かつラインの流れと炉の鋼片の流れが一致するため、連鑄鋼片の再加熱、プラネタリミル直前の鋼片の加熱、あるいは厚板の熱処理用に使用されている。

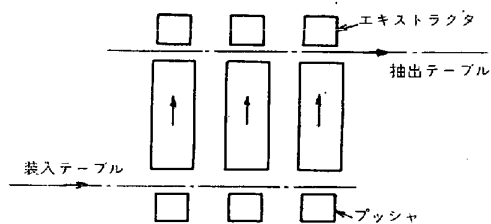
バッチ式加熱炉については、分塊用の均熱炉は別として、多種少量生産で連続炉にてできないような鋼片の加熱に使用され、鋼片サイズに制約がなく、また材質に合った加熱制御が容易にできる利点である。

加熱炉の前後における鋼片の流れを分類すると、主としてつぎの3種の方法になり、図2にそれを示す。

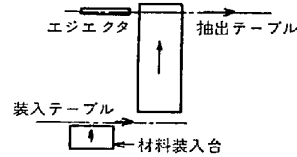
- a 後面装入，前面抽出
- b 後面装入，側面抽出
- c 側面装入，側面抽出

aは大形鋼片用加熱炉の場合の一般的な方法で、ホットストリップ、厚板、大形工場など生産規模が大きく、

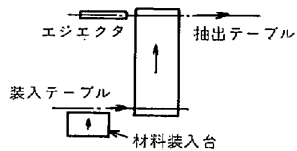
炉を2基以上並列に置く場合に有利で、炉の単独修理が可能である。抽出は大形鋼片の場合、従来の押し落し方式に代わってエキストラクタを使用し、抽出落下時の鋼片裏疵発生を防止している。



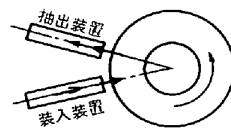
a. 後面装入，前面抽出



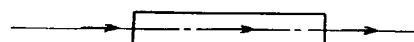
b. 後面装入，側面抽出



c. 側面装入，側面抽出



d. 回転炉床式



e. ローラハース式

図 2 加熱炉の配置例

b および c は、棒鋼、線材など比較的小形の鋼片で、ライン中に炉 1 基のみ設置する場合に多く採用されている。抽出あるいは装入が側面の場合は、開口部が小さいので、そこからの熱損失も少なくすむ。また、圧延機を炉の抽出口付近に設置すれば、長尺鋼片の後端の温度低下を防止できる。線材加熱炉のように、加熱能力の割に炉幅の広い炉においては、c のように側面装入の方法をとれば、炉尻からの排ガスの吹き出しも少なく、安定した炉圧制御ができる。しかし、鋼片装入用のテーブルローラが炉内に入るために、機構が複雑になる。抽出はエジェクタにより、固定炉床上を押し出すか、炉内ローラテーブルを設けて行なう。

回転炉床式加熱炉の場合は、抽出と装入が同一場所に集約されるので、炉の運転管理が容易になる。また、ローラハース式加熱炉は、装入ラインと抽出ラインを一直線上に結ぶことができる。

これらの各種形式の炉の、最近の用途別設置状況をみると、つぎのようになる。

#### (1) ホットストリップ用加熱炉

ホットストリップ製品の需要の増加は、めざましいものがあり、圧延機の大形化、高能率化が著しい。圧延速度は 1300~1500 m/min と高速化し、巻き取りコイル重量も 1500~2000 PIW と大形化し、年間の設備当り生産能力は 500~600 万 t と大規模になつた<sup>1)</sup>。したがって、加熱炉としても大形の鋼片で、処理能力も大規模のものが要求され、鋼片寸法は、厚さ 150~300 mm、長さ 4~13 m、単重 Max 45 t 程度となり、能力 300~350 t/hr が普通になつた。炉形としては、大部分がウォーキングビーム式で、一部ホットスキッドプッシャ式が採用されている。炉長は 40 m 前後にもおよび、燃焼制御は上下部 6 帯または 8 帯式で構成されている。ウォーキングビームによる鋼片持上重量は、1000 t を越すものもある。

#### (2) 厚板用加熱炉

厚板の需要は造船業界の伸びとともに著しく、圧延設備の能力増加にともない。加熱炉能力も従来の 100 t/hr 前後のものから、最近では 150~200 t/hr と大形化した。燃焼制御も 3 帯式から 5~6 帯式となつた。しかし、受注生産が比較的多く、鋼片サイズの変動が非常に多い。加熱炉としては、サイズが変動しても自由に搬送ができることが望ましい。また厚板の圧延の場合は、ホットストリップに比較して圧延比が小さく、したがって厚み精度の向上から、均熱完了時のスキッドマークが少ないことが要求される。厚板用加熱炉は、これらの加熱条件を満足したものが必要である。

鋼片厚さの変動に対しては、炉内におけるバックリングの心配がいらぬ、ウォーキングビーム式がよいが、長さの短い鋼片については、ビーム本数の多いウォーキングビーム式より、プッシャ式の方が鋼片の下面からの加熱能力を損ずることなく、搬送することができて有利である。また鋼片の均一加熱に対しては、炉幅方向に温度分布のよい軸流燃焼が容易にできる、プッシャ式の方がよい。以上のように両者一長一短があり、実際にも両者が採用されている。なお、プッシャ式はスキッドマークが少ないホットスキッドタイプが採用されている。今後の設備については、鋼片寸法も長さを大きくし、燃焼方式も改善され、ウォーキングビーム式が多く採用されるであろう。

鋼片サイズが特殊なもの、あるいは材質が特殊なもので、連続炉に入らないものに対しては、10~20 t/hr 程度のバッチ炉が併用されている。

#### (3) 形鋼用加熱炉

H形鋼、レール、鋼矢板などの大形用加熱炉は、従来プッシャ式を使用していたが、とくに粗形鋼片のように形状の複雑なものの場合、炉内の搬送に問題が多かつた。また、圧延能力の向上から、従来の 50~100 t/hr 程度から 150~200 t/hr と、大形の加熱炉が要求され、最近ではすべてウォーキングビーム式が採用されている。加熱条件からみても、角形断面のブルームは、ウォーキングビーム式採用により 4 面加熱ができ、加熱時間短縮で非常に有利である。

中小形用加熱炉についても、最近では大形化と同時にウォーキングビーム式、あるいはウォーキングハース式が採用されつつある。

#### (4) 棒鋼線材用加熱炉

棒鋼、線材用加熱炉としては、従来はプッシャ式で、能力も 20~30 t/hr 程度のものが多かつた。しかし、最近の圧延設備の能率向上、歩留り向上などにより、素材ビレットの大形化、設備の大形化が進んでいる。新しい線材工場では、コイル重量も 2000 kg 程度になり、ビレット長さも 20 m 以上となつた。加熱能力は大形のものでは 150~180 t/hr におよぶ。炉形式も炉内におけるビレットの曲りによるトラブルの少ない、ウォーキングハース式が多く採用されている。ビレットの抽出は一般に側面から行ない、装入についても長尺物については側面から行なっている。ウォーキングハース式では、3 面加熱となり比較的加熱時間も短かく、酸化、脱炭が抑制される。特殊鋼の場合 700~800°C 程度まで予熱し、その後抽出温度まで急速加熱する方法がとられており、そのために予熱炉と加熱炉の 2 基に分割しているものも

ある。

### (5) 鋼管製造用加熱炉

継目無鋼管用素材の加熱には、回転炉床式加熱炉が一般に使用されている。素材の均熱性もよく、装入抽出はマンプレーターによつて自動的に行ない省力化され、熱量原単位もよく、熱回収装置をそなえたもので約 350 000 kcal/t 前後である。炉の加熱能力は、従来の 40~50 t/hr 程度から、最近では 100 t/hr 以上となり、抽出本数も小径管用では、240 本/hr と非常に高速化されている。

熱間押し法による鋼管製造の場合の素材の加熱は、加工上スケールの発生を極度にきらうので、無酸化加熱方式の回転炉床式加熱炉が採用されている。無酸化雰囲気中の燃焼ガスにて直接加熱するため、燃焼用空気は非常に高い温度まで予熱している。炉の熱量原単位はよくない。また、普通の燃焼式の回転炉床炉を予熱炉として、加熱均熱に電気誘導炉を使用する方法も採用されている。

レジャーサ前の素管の再加熱用としては、ウォーキングビーム式再加熱炉が使用されている。加熱温度は 1 000°C 前後で、ビームは耐熱鋼製とし、素管の装入抽出は炉側面よりローラテーブルにて行なう。能率向上により、素管長さも非常に長くなり 15~25 m 程度におよび、加熱能力も 70~100 t/hr のものが設置されている。炉内の搬送機構については、とくに素管搬送時に疵の発生がないことが要求される。

銑接管製造用加熱炉としては、帯鋼を連続的に溶接したものを加熱するため、非常に細長いトンネル状の炉を

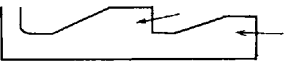
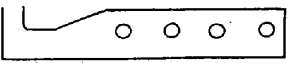
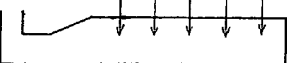
使用する。炉は加熱室と予熱室からなり、帯鋼は鍛接機のロールにより引張られ、炉内の水冷スキッド上をすべつて、予熱室から加熱室へと搬送、加熱される。帯鋼エッジは、約 1 350°C まで加熱される。燃焼は 3~4 帯、加熱能力は最大 65 t/hr 程度で、非常に高能率化が進められている。

### 2.3 バーナと加熱方式

加熱炉用のバーナは、燃焼中の火炎が安定していること、燃焼量調節範囲が大きいこと、保守、操作が容易なことが必要である。最近の炉では、バーナの形式、および炉に対する設置場所で分類すると、つぎの 3 種の方式が一般に使用されている。すなわち、従来のロングフレームバーナによる軸流燃焼方式、バリヤブルフレーム(ショートフレーム)バーナによるサイド燃焼方式、高負荷燃焼放射バーナによるルーフ燃焼方式がある。表 3 にこれらの燃焼方式の比較を示す。

実際の炉に適用する場合は、これらの燃焼方式を単独または組合わせて用いる。図 3 に上下部燃焼式加熱炉の代表的な適用炉形を示す。軸流燃焼方式は重油またはガス燃料を用いて、最も一般的に使用されている方法である。ルーフ燃焼方式は、炉内の温度分布が良好で、制御性もよいが、ほかの方式に比較しバーナ本数も多く、配管も複雑になるので、一般に均熱帯に多く使用されている。サイド燃焼方式は、従来小形の炉に多く使用されていたが、ここではとくに炉幅の広い炉で、炉幅方向の温度分布をよくするように設計されたバーナを使用する場合をいつており、ウォーキングビーム式加熱炉の発展と同時に開発されたものである。理想的なサイドバーナ

表 3 軸流燃焼, サイド燃焼, およびルーフ燃焼の比較

No	項 目	軸 流 燃 焼 方 式	サ イ ド 燃 焼 方 式	ル ー フ 燃 焼 方 式
1	炉に対する取付方法			
2	バーナー形式	ロングフレームバーナ	バリヤブルフレームバーナ	高負荷燃焼放射式バーナ
3	燃 料	重油, ガス	重油, ガス	ガス, 灯油
4	燃 焼 制 御 性	調節範囲広い	調節範囲狭い	調節範囲広い
5	加 熱 負 荷	大容量バーナあり大きい	大容量バーナあり大きい	小容量バーナーで数多く必要
6	炉内寸法制限	フレーム長さにより, ゾーンの長さは炉長方向に制限あり	フレーム長さにより炉幅方向に制限あり	炉長, 炉幅共に制限なし, ただし下部加熱は不可
7	炉内燃焼ガスの流れ	炉長方向で一致し無理なく流れる	バーナフレームと直角となり偏流が生じやすい	燃焼はバーナタイル内でほとんど完了し, 燃焼ガスの流れに無関係
8	ヒートパターン	炉幅方向にフラット, 炉長方向はノーズ部で低くなる	炉幅方向は軸流方式より劣る炉長方向にフラットになり, 加熱負荷を大きくとりやすい	炉長, 炉幅方向ともにフラット
9	炉体への取付構造	ノーズ部が必要, 炉体構造複雑	ノーズ部不要, 炉体構造単純	炉体構造単純 バーナ数が多く配管複雑

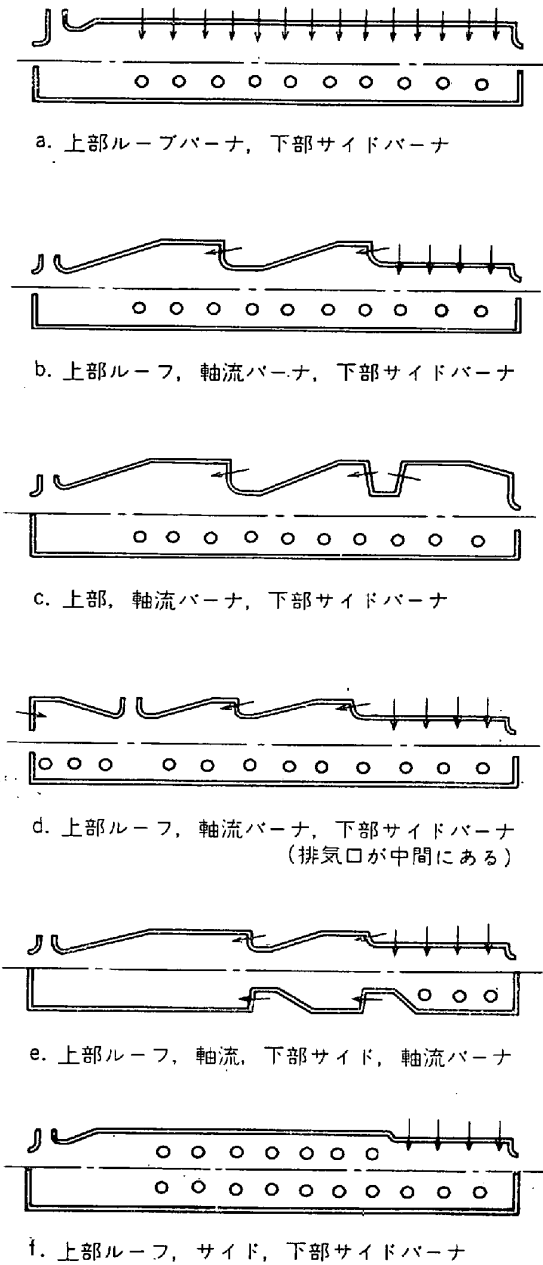


図 3 加熱炉の炉形例 (上下部燃焼式)

は、燃焼量が変化しても常に炉幅方向の温度分布が均一であることが望ましい。しかし、このようなバーナは一般には困難で、現状では燃焼量がしぼられ、温度分布が悪くなる状態では燃焼を停止させる、いわゆる間引き制御が行なわれている。なお、サイドバーナはその配管経路によつて、燃焼量にアンバランスを生じやすく注意を必要とする。とくに下部バーナについては、その確認が困難で調整不足による温度むらが生じやすい。

軸流燃焼方式では、各バーナ帯はノーズで仕切られ、各帯ごとの温度制御が比較的容易である。サイド、およびルーフ燃焼の場合は、このノーズに相当するものがないので、とくに各帯の制御を強調する場合にはバップル

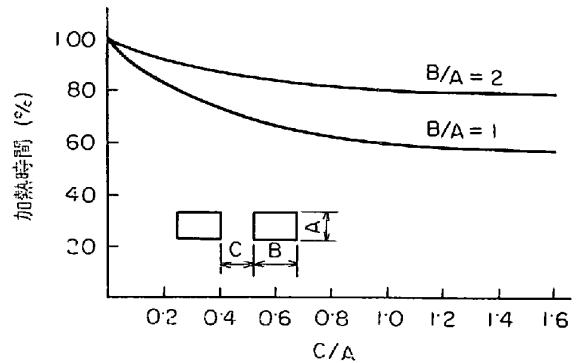


図 4 同一炉温における2面加熱と4面加熱の加熱時間の割合

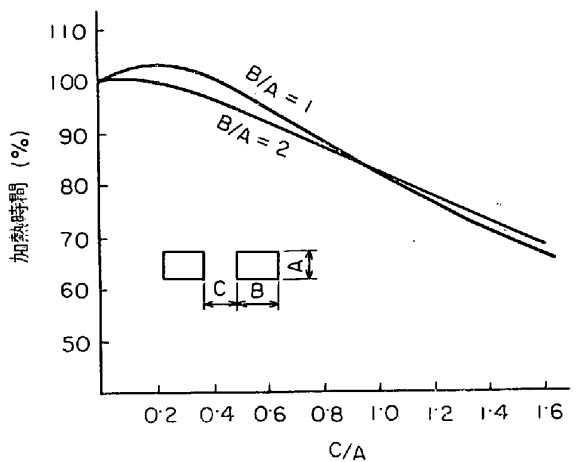


図 5 同一炉長の場合の2面加熱と4面加熱の加熱能力の割合

を設けている。なおバップルは、炉内の燃焼ガスの偏流を防止するにも役立つ。

2.4 加熱能力と熱量原単位

従来の3带式加熱炉から5带式となり、急速加熱による鋼片の加熱時間の短縮が行なわれたが、最近の大形加熱炉においても、ウォーキングビーム式、あるいはウォーキングハース式の採用により、さらに一段と短縮した。すなわち、従来の1面加熱、および2面加熱に加えて、3面加熱、および4面加熱ができることにより、ブルーム、ピレットなど角形断面鋼片の加熱時間が短縮した。

ピレット、ブルームのような断面鋼片を4面加熱した場合の、2面加熱の場合に対する加熱時間の短縮割合を図4に示す。正方形断面の場合、その間隔を十分にとれば、加熱時間は2面加熱の場合の60%以下になる。断面形状が長方形になるにしたがつて、その短縮割合は小さくなる。しかし、正方形断面の場合でもあまり間隔をとりすぎると、限られた炉内スペースに対して、加熱能力が低下することになる。その関係を図5に示す。実際

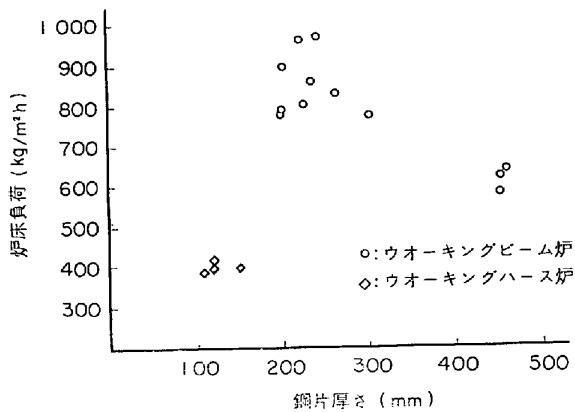


図6 ウォーキングビーム炉，ウォーキングハース炉の炉床負荷

の鋼片間隔は，鋼片の曲り，装入，抽出装置との関係などを考慮して決定されている。

加熱炉の加熱能力の算定には，Haysの経験式がある<sup>2)</sup>。その後，日本鉄鋼協会共同研究会熱経済技術部会の連続加熱炉能力算定式小委員会で，この式を修正し，加熱能力算定式が提出された<sup>3)</sup>。さらに，最近同部会の加熱炉小委員会によつて，伝熱計算にもとづく鋼片加熱時間の計算方法がとりまとめられた<sup>4)</sup>。

一方，加熱炉の単位炉床面積当りの加熱能力を表わす値として，炉床負荷（単位：kg/m<sup>2</sup>hr）がある。図6に最近の大形ウォーキングビーム式，およびウォーキングハース式加熱炉の炉床負荷の一例を示す。これによれば，大形ウォーキングビーム炉の炉床負荷は，鋼片厚さ250mmの場合で約850kg/m<sup>2</sup>hr程度であり，従来の5带式プッシュ炉のそれと比較すると，約10~15%程度大きな値を示す。これは，ウォーキングビーム炉の場合，均熱帯炉床面からも加熱を受けることによるもので

ある。また，ウォーキングハース炉の場合は，約400kg/m<sup>2</sup>hr前後となつており，上部燃焼式プッシュ炉に比較して低い値を示す。これは，炉内におけるビレットの，安定した加熱と，搬送を考慮して，その間隔を十分とつていることと，比較的炉尻の炉温を低くとつていることによるものである。

加熱炉の熱量原単位に，非常に大きく影響するものとしては，炉内ビームの水冷却損失と，排ガスの熱損失がある。最近の大形炉では，炉の能力向上にともない，炉床負荷も大きくなつている。したがつて排ガス温度が高く，一般に1100°C前後となり，排ガスによる熱損失が非常に大きい。さらに，ウォーキングビーム式の場合は，プッシュ式に比べて水冷ビームが多く，これによる熱損失も大きい。これに対して，ウォーキングハース式の場合は，水冷損失も少なく，排ガス温度も比較的低いことから，熱量原単位は非常によい。加熱炉の熱量原単位の一般的な値としては，炉の形式，炉床負荷，燃料，レキュペレータ効率などによつて異なるが，大体つぎのようである。なお表4に，各種加熱炉の熱勘定の一列を示す<sup>5)</sup>。

- ウォーキングビーム式 50~55 万 kcal/t
- プッシュ式（上下部燃焼） 40~45
- ウォーキングハース式 32~37

炉の熱量原単位の低減対策としては，水冷ビームの断熱層の強化，鋼片の適正加熱，開口部からの侵入空気防止，レキュペレータによる排ガスの有効利用などが行なわれており，ウォーキングビーム式加熱炉でも50万kcal/tを下まわつているものもある。

炉の大形化は，炉床負荷の増大にともない，熱量原単位を犠牲にしてきたが，今後の原単位低減対策としては

表4 加熱炉の熱勘定の例

（単位：10<sup>3</sup> kcal/t）

項	目	ウォーキングビーム炉 (熱延用)		ホットスキッドプ ッシュ炉 (熱延用)		ウォーキングハース炉 (線材用)	
人 熱	燃料燃焼熱	553.0	94.6%	451.4	95.8%	329.4	89.6%
	燃料顕熱	0.7	0.1	1.9	0.4	1.5	0.4
	空気顕熱			2.6	0.6	15.8	4.3
	スケール生成熱	21.7	3.7	12.1	2.6	20.0	5.5
	装入鋼材含熱量 噴霧蒸気顕熱	9.4	1.6	1.5	0.3	0.7	0.2
	合計	584.8	100.0	470.8	100.0	367.4	100.0
出 熱	抽出鋼材含熱量	202.5	34.6	203.6	43.2%	176.2	48.0%
	スケール含熱量	6.1	1.1	3.9	0.8	3.6	1.0
	排ガス顕熱	222.9	38.1	179.0	38.1	120.3	32.7
	冷却水損失熱	85.3	14.6	27.2	5.8	67.3	18.3
	その他	68.0	11.6	57.1	12.1		
	合計	584.8	100.0	470.8	100.0	267.5	100.0

この炉床負荷の再検討が必要であろう。炉床負荷が大きい場合は、排ガス熱損失が多く、炉床負荷が極端に小さくなれば、水冷ビームによる熱損失が多くなり、ともに熱量原単位は増加し、その間に最適な炉床負荷がある。

## 2.5 燃焼と公害対策

現在の鉄鋼用加熱炉の大部分は、燃焼による熱エネルギーを利用しており、主なる燃料としては、C重油、コークス炉ガス、Mixガスなどがあげられる。わが国の燃料の消費量は、鉄鋼をはじめ、電力、化学工業など、ますます増大し、その燃焼による大気汚染は、ここ数年来急激に悪化の道をたどってきた。汚染物質としては、いおう酸化物、ばいじん、窒素酸化物、一酸化炭素などがあげられる。国の公害対策基本法にもとづき、昭和44年2月に、まずいおう酸化物の環境濃度基準が設定され、その他についても順次設定が行なわれつつある。また、地方自治体もこれに基づいて、地域ごとの公害条例を設定し、その目標値の達成に努力している。さらに、最近これらの規制が飛躍的にきびしくなり、その達成についてはますます困難になりつつある。加熱炉を対称とした場合は、このうち、いおう酸化物、ばいじん、窒素酸化物が問題となつている。

### (1) いおう酸化物

排煙中のいおう酸化物は、燃料中のいおう含有量によつてきまる。従来の対策としては、もつばら高層煙突による大気拡散、および低いお重油（マイナス重油）の使用などによつてきた。しかし、昭和44年に制定された環境基準の年平均値0.05 ppmは、48年5月さらに強化され、各製鉄所ともその地方自治体と非常にきびしい協定が結ばれつつある。たとえば、川崎、千葉などでは、最終の目標を0.012 ppm以下としている。したがつて、さらにいおう分の少ない燃料への転換をせまられている。すなわち、LPG、LNG、ナフサ、灯油などの低いお燃料の採用が検討され、あるいは実施に移されつつある。また排煙脱硫についても検討されている。

### (2) ばいじん

鉄鋼用加熱炉から排出されるばいじんの量は、他の鉄鋼用設備である焼結炉、高炉、転炉、電気炉などに比較して非常に少ない。しかし、排出基準の強化により、特定地域においては、集じん装置の設置規制が行なわれており、重油燃焼については、その転換をせまられている。

### (3) 窒素酸化物

窒素酸化物については、昭和45年夏東京に発生した光化学スモッグ事件以来、大気汚染物質として急激に問題になつてきた。窒素酸化物は、燃料および燃焼空気中

の窒素と酸素とが、高温で反応し生成するもので、その発生源も固定燃焼装置、自動車などあらゆる燃焼装置にある。しかし、その発生の詳細は、まだ明らかでない。防止方法としては、酸化物発生の少ない燃料への転換、および燃焼方法の改善によるか、燃焼で生成した酸化物を化学的に処理し除去する方法とがあるが、加熱炉用として燃焼改善および化学的処理法によるものは、現在まだ実用化には至っていない。製鉄所における、加熱炉からの窒素酸化物防止対策は、今後の非常に大きな公害対策テーマの一つである。

機械および電子工業の発展をはかるために、機電法（特定電子工業および特定機械工業振興臨時措置法）が昭和46年に施行された。その中に燃焼炉製造部門の合理化目標値が示されており、これによれば、昭和50～52年の目標として、45年度末製品に比較し、ばいじん排出量の低減70%以上、窒素酸化物排出の低減70%以上、騒音75ホン以下、熱消費量の低減20%以上などが示されており、公害対策、エネルギー対策上きわめて高度な目標が掲げられている。今後はますますこれらの公害対策に努力しなければならない。

## 2.6 加熱炉の構造

### (1) 炉形

加熱炉の炉形は、炉内の鋼片搬送方法と加熱方法とによつてきまる。すなわち、2.2項でのべたプッシャ、ウォーキングビーム、ウォーキングハースなどの各搬送方式、および装入、抽出方法、2.3項でのべた軸流、サイド、ルーフの各燃焼方式などの組み合わせによる。

ルーフ、あるいはサイド燃焼方式の場合、炉の天井はフラットにでき、耐火物、金物構造が単純化される。また、ウォーキングビーム、ホットスキッドなどの採用により、従来の均熱炉床が不要となつた。炉からの燃焼ガスの取り出しとしては、従来から、アップテーク、サイドテーク、ダウンテークの3方式があるが、ウォーキングビーム、およびウォーキングハース式の場合は、炉床下部の構造上ダウンテーク方式がとれない。

### (2) プッシャ炉用水冷スキッド

従来のプッシャ炉用水冷スキッドは、肉厚鋼管上に角状、または丸状のレールを溶接した構造で、これによつて、いわゆるスキッドマークが発生し、均熱炉床においても、これを十分除去することが困難なために、種々の除去方法がとられた。すなわち、スキッドレールをシフトする方法、均熱炉床上のスキッドマーク部に炉長方向に溝を掘り、バーナを設けて、鋼片の下面より加熱除去する方法などが行なわれた。最近では、ホットスキッドタイプがこの除去対策として多く採用されている。図7



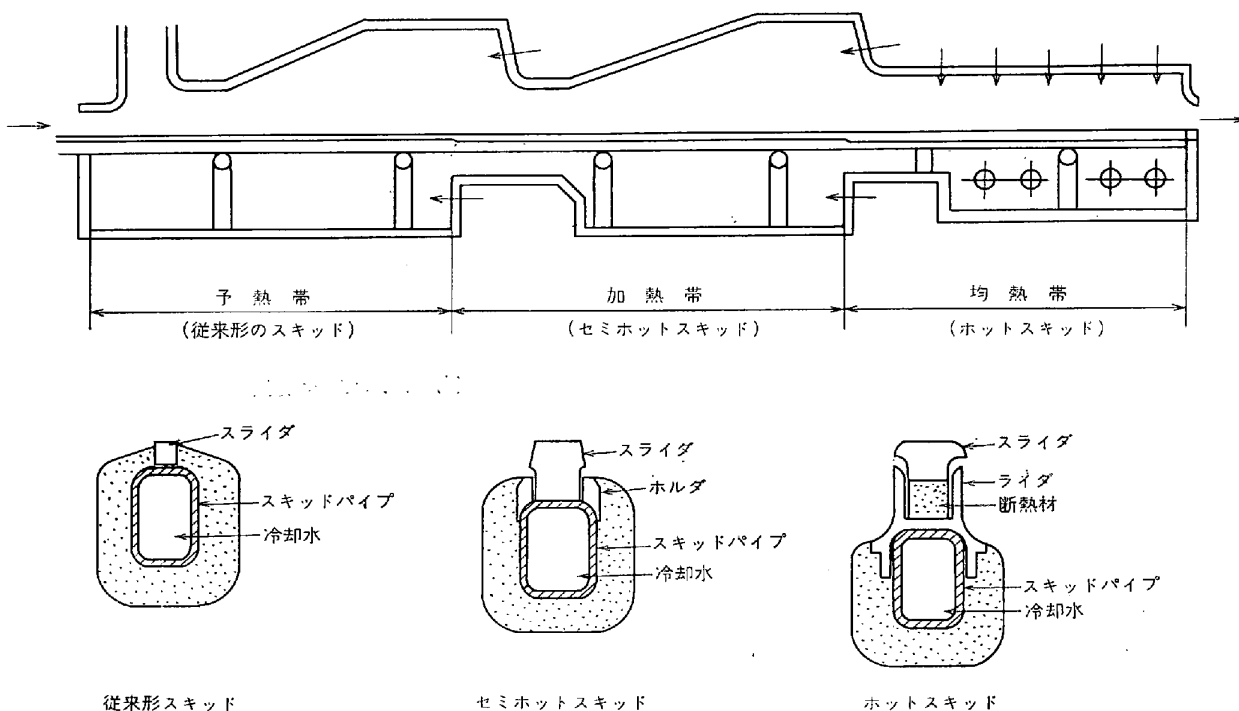


図7 ホットスキッドタイププッシャ式加熱炉およびスキッド構造

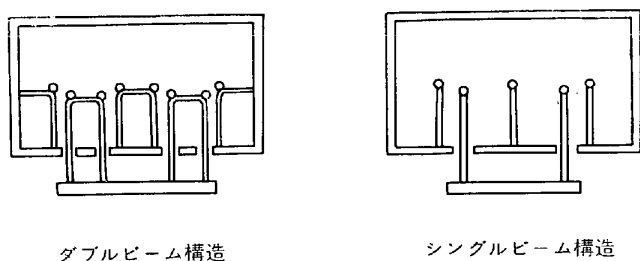


図8 ウォーキングビーム構造

に、ホットスキッドの構造、およびそれを用いたプッシャ炉を示す。一般にホットスキッドは均熱帯に使用し、加熱帯ではセミホットスキッドを使用している。これは加熱帯でのホットスキッドの耐熱性が十分でなく、またホットスキッドの経済性を考慮していることによる。なお、スキッドマークの完全除去に対しては、ホットスキッドをシフトすることが望ましい。

スキッドの耐火材は、一般にキャストブル、またはプラスチックが使用され、V形、Y形などのスタッドにより支えられている。耐火材の厚さは50~100mmで、とくに熱損失を少なくするため、内部に断熱材を入れている場合もある。

(3) ウォーキングビーム

ウォーキングビーム炉において、鋼片は、固定ビームと移動ビームに交互にのりながら炉内を搬送される。ビームは、図8に示すように、各ビーム毎に単にポストで支持されているシングル構造と、相隣るビームをつない

だラーメン構造とがある。一般には前者が多く使用されている。ビームは、駆動時の横揺れがなく、鋼片が確実に搬送されるよう強固に製作されている。ビームの鋼片支持面は、スラブの場合パッド式、ブルーム、ビレットなど角形鋼片ではレール式が一般に使用されている。いずれもスキッドマークを少なくするよう、耐熱鋼製で70~80mm程度と高くしている。ウォーキングビーム炉では、プッシャ炉に比較してビームの本数が倍近くになり、ビームの影の影響で加熱能力が低下するので、できるだけ本数を少なくすることが重要である。しかし、ビーム間隔が大きすぎたり、ビームからの鋼片のオーバーハングが大きすぎる場合は、均熱帯にて鋼片が曲つて垂れ下がりやすく、搬送に支障を生ずるので注意が必要である。

(4) ウォーキングハース

ウォーキングハース炉では、鋼片は耐火物に支持され搬送する。したがってハース上面の耐火物は、耐圧強度、耐摩耗性の高いものが要求される。また耐スケール性のよいことも必要であり、一般に高アルミナ質の耐火レンガまたは不定形耐火物が使用されている。ハースのコーナ部についても耐火物が損傷し、その破片が固定炉床との間に落ち込み、ハース駆動に支障を生じないように、耐スポーリング性の高いことが必要である。移動炉床の幅は、その構造上700~800mm以上としている。コーナ部については、耐火物のせり出しを防ぐため、耐

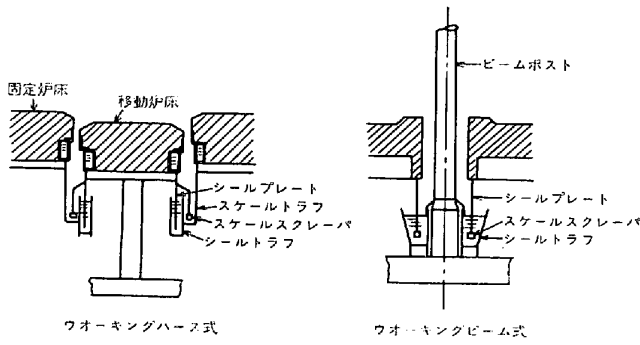
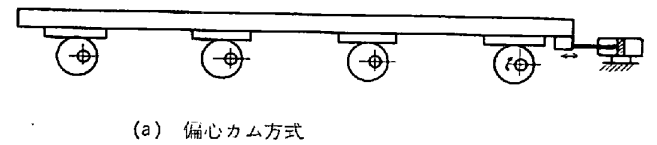
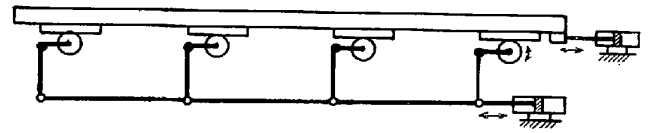


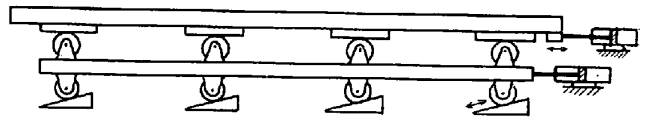
図 9 炉床シール構造



(a) 偏心カム方式



(d) クランクレバ方法



(c) 傾斜レール方式

図10 ウォーキングビーム駆動機構

熱鋼製金物，および水冷リントルでかこまれている。

(5) 炉床シール構造およびスケール処理

ウォーキングビーム，ウォーキングハースの固定炉床との隙間は，炉外からの侵入空気を防止するために，ウォーターシールが設けられている。図9に各種シール構造を示す。シール金物は，燃焼ガスによる腐食を考慮した材質を使用する。シール用水はオーバフロ方式で常にその水位を保持している。

隙間から下部に落ちるスケールは，直接シールトラフ中に落下させる湿式処理方式と，シールトラフと別にスケールトラフを設けて，その中に落下させる乾式処理方式とがある。トラフ中のスケールは，いずれもウォーキングハース，またはビームと同時に動くスクレーパによって，炉の装入側の方へかき集められ，排出する。

(6) 炉床駆動機構

ウォーキングビーム，あるいはハースの駆動機構は，前後進装置と昇降装置からなり，その交互運動により，上昇，前進，下降，後退をくり返し鋼片を搬送する。

前後進は，一般に油圧シリンダによって行なわれ，その移動量は，シリンダストロークの調整により自由にできる。停止位置の制御は，リミットスイッチ，またはカウントシステムにより行なう。後者の場合は，一回ごとに移動量の補正を行なうことができる。

昇降装置は，偏心カム方式，クランクレバ方式，傾斜レール方式などがあり，図10にそれらを示す。偏心カム方式は，一般に電動により，その他は油圧シリンダにより駆動する。昇降量は，150~200 mm 程度である。前後進，昇降ともに，その起動および停止には，加速，減速量を制御してビームのショックをできるだけ小さくしている。また上昇，下降途中の鋼片の受け渡し時も，加速，減速を行なっているものもある。

また，搬送中に生ずる鋼片の蛇行は，できるだけ少なくすることが必要で，そのためにセンタリング装置を設けている。なお蛇行の防止には，駆動機構の製作，据付

は，精度のよいことが必要である。

(7) 耐火物

最近の加熱炉用耐火物の著しい推移は，従来の耐火レンガに代つて，プラスチックおよびキャストブルと，いわゆる不定形耐火物が大量に使用されるようになったことである。不定形耐火物は，レンガに比較して，一般に耐スポーリング性に富み，苛酷な操炉条件に対して耐えやすく，製造期間も短かく在庫管理が容易で，かつ，補修も簡単である。天井，側壁，バーナ壁は，すべてプラスチックが使用されるようになり，その損傷も耐火レンガに比して，非常に少なくなった。炉床については，経済性もあり，従来のレンガが一般に使用されている。ビームポスト貫通部廻りは，耐スケール性，耐スポーリング性のよいキャストブル，またはプラスチックが使用されている。煙道，煙突についても，不定形化が進んでおり，とくに公害対策用の高層煙突については，断熱キャストブルに負うところ大である。

不定形耐火物が採用され，施工方法についても新工法が採用されるようになった。キャストブルは，流し込み工法が一般的であるが，さらに，吹付工法（熱間，冷間），圧力工法，ポンプ圧送工法などによって，施工の能率化や，補修の迅速化を計っている。また，炉構金物と同様に，耐火物についてもプレハブ工法が採用され，施工品質の向上と，現地築炉工期の短縮が可能となった。とくに工期を急ぐ補修工事に有利である。しかし，耐火物の特性上，搬送方法，現場組立てどきの揚重機能などの問題があつて，その経済性については，なお検討すべき点が残されている。

## 2.7 レキュペレータ

炉の大形化につれて、炉床負荷が大きくなり、したがって排ガス温度がますます高くなってきたことより、レキュペレータは、熱量原単位低減のために非常に重要なものである。

加熱炉用として、現在一般に使用されているのは、金属レキュペレータで、その形式としては、対流多管式（フィン付式とフィン無し式とあり）と放射スタック式がある。多管式は、従来より広く使用されていたが、スタック式が昭和40年頃より多数採用された。これは、炉の大形化にともなう排ガス温度の高温化（1000°C以上）、煙突の代りになり排気煙突不要などの特長による。しかし、その後排ガスによる大気汚染の防止対策の一つである、いおう酸化物対策として、排ガス拡散用の高層煙突の設置が必要となり、高層煙突への煙道接続レイアウトの容易な多管式が見直されるようになった。一方、金属製レキュペレータのトラブルが比較的多い点から、タイルレキュペレータの見直しが行われ、スタインタイプのもので採用されている。タイルレキュペレータの場合は、その構造上空気の漏洩を考慮する必要があり、空気用ファンは、レキュペレータを通過した高温側で運転しなければならぬ。また金属レキュペレータに比して、非常に大容積となり、大きなスペースが必要である。

工場別でみると、ホットストリップ、厚板、大形など排ガス温度が1000°C以上の大形炉については、多管式、スタック式がともに使用されている。予熱空気温度は、400~500°C程度が一般的である。線材用加熱炉の場合は、排ガス温度も700~800°Cと非常に低く、多管式が使用されている。予熱空気温度も300~400°Cと低い。

レキュペレータの損傷の原因としては、熱的なショックによるクラック、高温酸化、熱膨脹、疲労などがあり、とくに重油燃焼の場合は、いおう酸化物、バナジウム酸化物による腐食がある。これらのトラブルは、レキュペレータの形式、燃料の種類によつて異なる。その対策としては、対流多管式では、材質の改善、チューブ、フィンの形状変更による温度の均一化、排ガスと空気との流れの組合わせの検討、プロテクションチューブの設置などを行なっている。放射式では、材質、板厚の改善、熱膨脹対策による構造変更などがある。

レキュペレータに対する保護装置としては、煙突へのダイレクション空気の吹き込み、および熱風のブリードがある。放射式の場合は、熱風ブリード装置のみ設け、排ガスはとくに制御しないのが一般的である。対流式の場合は、排ガス温度が1000°C以上ある場合は、

両者の制御を行ない、排ガス温度は1000~950°C以下におさえる。線材用加熱炉のように排ガス温度が低い場合は、ブリード装置のみを設ける。

放射スタック式のレキュペレータを加熱炉の側壁両側に配置する場合は、排ガスの偏流が生じやすく、炉圧制御と同時に偏流対策を考慮する必要がある。

なお加熱炉用金属レキュペレータのまとめに、日本鉄鋼協会共同研究会の熱経済技術部会報告書がある<sup>6)</sup>。

## 2.8 自動制御

加熱炉の自動制御は、炉内の鋼片を圧延に必要な温度まで加熱するための、炉内温度、および燃焼制御と、鋼片の搬送に必要な機器の制御から構成される。

炉内の温度および燃焼関係の制御としては、一般に、炉内温度制御、燃料流量制御、空燃比制御、炉内圧制御、レキュペレータ保護制御などからなり、そのほか各種管理計器、安全および監視装置がつく。各機器の構成は、従来と大差ない。温度制御は、炉内雰囲気温度と、鋼片表面温度の両者が使用されている。大形炉におけるサイド燃焼方式の採用により、2・3項で述べたように、バーナごとの間引き燃焼制御が行われ、炉幅方向の温度むらを防いでいる。なお、サイドバーナの燃焼制御には、各バーナの燃焼量の均一化、上下部燃焼帯の相互干渉防止、下部燃焼温度の測定方法など、なお問題が残されている。炉内圧制御については、炉の大形化、ウォーキングビーム炉の使用などにより、侵入空気の防止、温度分布、および燃量原単位の向上などで、とくに重要な制御になつてきた。

鋼片の搬送についても、装入テーブルからプッシャ、ウォーキングビーム、エキストラクタ、抽出テーブルにいたるまでの自動化がされている。鋼片サイズの変動に対しても、常に炉内に適正な間隔で装入され、最高の加熱能力で炉が操業される方法もとられている。なお、炉内外の鋼片搬送の監視用として、工業用テレビの使用が一般化してきた。

炉内の燃焼制御方式では、炉温の設定は、すべて経験の深い操炉者によつて行なわれている。理想的な制御は、圧延スケジュールにしたがつて変動する鋼片サイズ、抽出速度に対して、常に圧延に必要、かつ十分な適正加熱を行なうよう、炉温を設定することにある。これには、圧延スケジュールに基く装入鋼片のサイズ、搬送ピッチ、加熱時間、加熱温度などを情報源とするコンピュータによる加熱温度の最適化制御システムの採用が望ましい。

## 2.9 これからの加熱炉

最近の鋼片用加熱炉は、生産規模の増大にともない、

その大形化に非常に努力がはらわれた。同時に、ウォーキングビーム炉の採用による搬送方法の改善、不定形耐火物による築炉技術の向上、ホットスキッドによるスキッドマークの改善など、技術的な進歩も多くみられた。一方、大形化、ウォーキングビーム炉の採用などによつて、炉の熱量原単位などのように、悪くなつたものもある。これからの鋼材は、ますます高品質のものが要求されることから、これからの加熱炉は、一層、質的な技術の向上を計る必要がある。

これからの省エネルギー時代にあたり、熱エネルギーの節減は、公害防止対策上からも非常に重要であり、そのためにできる限り熱量原単位のよい炉にすることが必要である。それには、熱効率からみた炉床負荷の適正化、排ガスの保有熱の有効利用、冷却水熱損失の節減などのより積極的な努力が必要である。また鋼片の加熱温度の適正化も重要である。

いおう酸化物、窒素酸化物、ばいじんなどの公害対策としては、燃料転換、バーナから始まつて排ガスの処理まで、トータルシステムとしての検討が必要であろう。また、わが国の電力コストにもよるが、誘導加熱による方法、あるいはその併用も公害対策上よいであろう。

加熱品質の向上に対しては、サイド燃焼方式の見通しにより、炉内温度分布の均一化がある。さらに、労働力の不足、コストの低減からみた、省力化、作業性の向上、メンテナンスの容易化、安全対策などが必要であろう。

### 3. 鋼材用熱処理炉

#### 3-1 厚板熱処理炉

通常 6 mm 以上を厚板といい (3.2 mm 以上~6 mm を中板といい厚板に含める場合もある) 厚板は主として船舶、車輛、パイプ、橋梁、圧力容器、機械構造物、海洋構造物に使用されるが、その用途も年々拡大するとともに、苛酷な条件下で使われるので、機械的な強度や、厚板に対する質的な要求も高度化され、とくに最近厚板の表面状態のきれいなことが要求されるようになり、直火式にかわつて霧囲気ガスを使用したラジアントチューブ使用の間接加熱式の炉が多く使用されるようになった。

厚板がわが国で量産化されて以来近々 10 年にしかないが、熱処理炉の進歩とともに熱処理厚板 (焼ならしまたは焼入れ、焼戻された鋼板) はその種類、材質および生産量においてめざましい発展をとげ、今や世界の最尖端にある。

霧囲気炉の特長はスケールをショットブラストで除去

した鋼板を無酸化加熱することにより、スケールピックアップのない表面のきれいな板を生産することで、厚板の場合焼ならし、焼入れのような温度の高い炉にはラジアントチューブを使用した霧囲気炉が適当であり、焼戻のような比較的温度の低い炉ではスケールの発生が少ないために霧囲気炉の効果が少なく直火式が多い。

搬送形式については、近時はほとんどすべてローラハース形が用いられているが、ウォーキングビーム式も疵がつかない利点があるので使用されることもある。ローラハース形の炉については、完全な連続式の炉と、場所の関係より炉内でローラが曲らないようにオッシレートし、一定の時間がくれば炉外へ出る方式と、鋼板がオッシレートしながら僅かずつ前進して出炉するオッシレート炉と、オッシレート炉と連続炉の両方式をあわせた方式がある。通常はハースローラは数組に分割して、電動極によつて減速機を経てチェー駆動される。焼入れ炉の場合は炉内抽出端に近いグループのローラは、加熱を終わった厚板を急速に抽出して焼入れ装置に送り込む必要がある。電磁クラッチを介して高速電動機駆動に切り換えることができる。ローラハース式の炉で直火式熱処理炉については、800°C 以上に加熱すると鋼板表面にスケールが発生し、このスケールがハースロールに付着して鋼板表面にピックアップを起こすので、これを防ぐために比較的 Ni の少ない 28 Cr-10 Ni などの材料が使用される。またウォーキングビーム式ではこの心配はまつたくないが、シール性において問題がある。

炉の構造的な点では炉の保温材として、耐火断熱レンガと保温材を内張りするのが普通であるが、天井は炉幅が広いので不定形耐火物を使用する 경우가多く、また最近セラミックファイバーを使用することもある。

加熱はハースロールの上下に配置された直火式バーナ、または間接加熱の場合はラジアントチューブによつて行なう。燃料は排気中の亜硫酸ガスによる大気汚染の公害問題があるので、最近順次油よりガスに移行しつつあり、燃料ガスとしては 2000 kcal/Nm<sup>3</sup> の M ガスから LPG まで使用されている。また設置場所によつては大気汚染の公害問題のみでなく、バーナの燃焼音による騒音が公害問題として大きくとりあげられ、サイレンサ付のバーナも要求されるようになった。つぎにラジアントチューブ式燃焼の形式上の分類では、燃料と空気を吸いこんで燃焼させる吸込形と、燃料と空気を強制的に押し込む押し込形に分かれ、吸込形の方は流量制御がむずかしく、通常 ON, OFF 制御しかできないが、ラジアントチューブが破損した場合でも炉気が汚染される心配がない。押し込形の場合は流量制御、炉内圧力制御が容易で

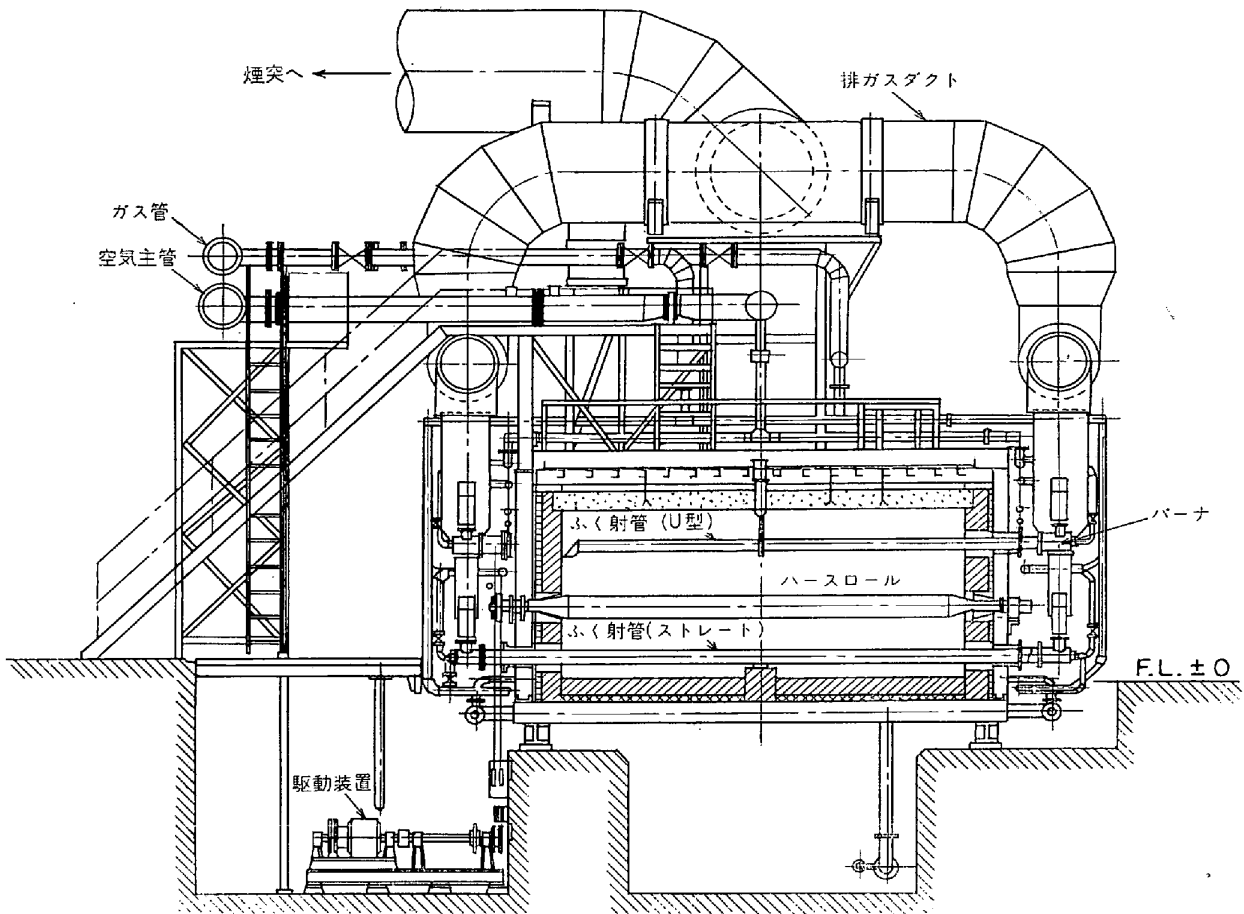


図11 炉 断 面

あるが、ラジエントチューブが砂損した場合は炉内に燃焼ガスが流れこみ炉内雰囲気汚染されるので両者ともそれぞれ一長一短がある。またラジエントチューブ用バーナの燃料消費量を少なくするため、レキュペレータをつけて排気ガスにより燃焼用空気を予熱して熱効率をあげる方式も採用されている。図11は雰囲気式厚板熱処理炉の断面を示す。

3.2 薄板熱処理炉

薄板はホットストリップを冷間圧延したさい加工硬化を起こしているのので、そのまま使用することができず用途に応じ焼なましを施す。薄板の熱処理炉としては操業方法および形式によつてつぎのように分類される。

- バッチ式 (カバー形)
  - 台車形
  - ベル形
  - ポット形
- 連続式
  - スtrand形
  - ローラハース形
  - トレープシヤ形

バッチ式というのは装入抽出のとき以外は材料は静置されており、炉温を加熱冷却サイクルに応じて昇降させ

る方式で、ベル炉、ポット炉、台車炉がこれに相当する。一方連続式とは炉を長手方向に加熱冷却サイクルに応じた温度分布にしておき、その温度に滞留する時間に応じた速さで材料を通過させる方式の炉で、strand形、ローラハース形、トレープシヤ形の炉がこれに相当する。バッチ式で最も多く使用されるのはベル形炉であるが、これにはシングルスタックすなわち1つの炉内にコイルの積み重ねが1個あるものと、マルチプルスタックといつて複数個のものがある。シングルスタックは多品種生産向きでわが国ではこの方式が多く使用されている。またマルチプルスタックは少品種多量生産に向いておりアメリカで多く使用される。

ベル炉においても他のすべての炉と同様に、最近の炉はとくに生産性の向上、処理品の品質の向上、生産コストの低減、公害問題のないことなどがあげられ、これらの要望にそつてますます大形化され、高度化される傾向にある。すなわち装入するコイルの単重も10~20t程度から40~50tと大きくなり、また1スタックの装入量も20~30t程度であつたものが最近では120~150tと非常に大きくなつた。これによつて生産量は増大し

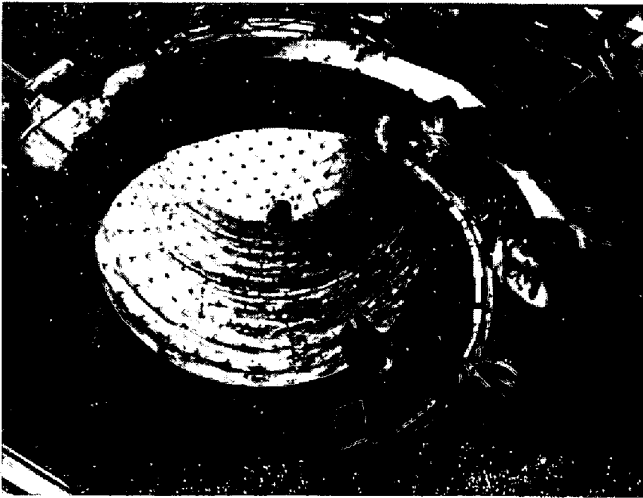


写真 1

また単重の増加によつてハンドリング回数をへらし生産コストの低減がはかられている。また炉の構造についていえば、熱伝達係数を増すために強力な循環ファンを採用し、伝熱面積を増やすためインナカバーをコルゲート加工し併せてインナカバーの変形を少なく強度をふやす考慮がはらわれ、また装入材の表面の局部加熱を防止し、熱効率を良くするために二重インナカバーが多く用いられる。

シール方式も従来のサンドシールにとつて代つて、セラミックファイバー使用のソリッドシールが採用されている。つぎにアウターカバーのライニングについても急熱急冷に耐え、しかもクレーンで吊りあげるために軽量でなければならぬので従来は耐火断熱レンガを主体として用いられていたが、最近セラミックファイバーが使用されるようになった。写真1はその例を示す。

またベル炉で鋼板を焼なましする場合は一般に雰囲気ガスを循環させるファンを有するベース上にコイルを数段重ねインナーカバーで覆い、アウターカバー内の炉気を遮断し、温度を上げて焼なましするがこの場合インナカバーの内圧を従来 200~300 mm を  $0.1 \text{ kg/cm}^2$  程度に保持するいわゆる高圧焼なまし方法により対流の熱伝達を高め、加熱速度および冷却速度を従来 80 時間程度のものを 20 時間も短縮する方法も考えられている(特公昭 44-6577)。そのほか冷却時間を短縮する目的で従来はアウターカバーを取りはずしたのちはインナカバー表面よりの自然冷却によるか、ウィンドボックスより空気を吹き付け冷却する方法、インナーカバー上に散水する方法なども実施されていたが、現在ではほとんど強制冷却装置といつてインナカバー内の雰囲気ガスを冷却器により冷却する方法が採用されている。この方式にはインターナルシステムとイクスターナルシステムとあり、

わが国ではイクスターナルシステムが多い。従来の冷却方法ではアウターカバー 1 基の設備に対しベース 3 基が必要とされたが、強制冷却装置を使用することにより、アウターカバー 1 基に対しベース 2~2.5 基の割合で設備すれば冷却時間の短縮によつて十分操業できるようになった。また冷延鋼板の焼なましはすべて光輝焼なましされねばならないので雰囲気ガスが使用され、当初は DX ガスや NX ガスが用いられたが光輝度の問題より最近では HNX ガスも用いられるようになった。少量多品種の熱処理炉としてはベル炉の使用は必要欠くことのできないものであり、排ガスを有効利用した熱光換器付のベル炉とか、自動化によるコストの消滅が今後の問題と考えられる。

連続式で薄板を量産する場合の炉の一形式にストランド形の熱処理炉があるが、これは縦形と横形に分類される。現在までのところ縦形はブリキ厚板およびステンレス鋼板用に、また横形は亜鉛メッキ前焼なましおよびステンレス鋼板用に用いられる。縦形は  $600 \text{ m/min}$  の高速搬送も可能で、生産性がよく、また急速冷却や冷却速度の調節が比較的容易であるのでテンパー度の高い良質の鋼板が得られる。またエントリおよびエキジットローパーを備えており、完全な連続操業が可能である。

ステンレス鋼板用の縦形なまし炉は一般に処理する材料幅が普通鋼の場合よりせまく、また加熱温度は  $800 \sim 1000^\circ\text{C}$  と高いので最近の設備では疵の問題もありシングルパス方式とし、短かい炉長で所定の加熱冷却が終るような考慮が払われている。また自動車のボデーなどに使用される薄板の焼なましにおいても、従来はコールドタンデムミルで圧延後圧延のとき使用した圧延油を除去したのちベル炉で焼なましを行なっていたが、この方法だと 50 時間~70 時間位かかり、さらにクレーンで材料を装着したり取り出したりする時間を合わせると 100 時間位かかっていたが、これをストランド式の縦形焼なまし炉で連続焼なましをすると炉内を通過する時間は 3~5 分で終わるため、非常な時間の短縮になり、これによつて製造時間が大幅に短縮され省力化できるのみならず、焼なましから最終仕上げまで 1 本のラインにまとまるので、配置も簡単になり工場の面積も小さくてもよいことになり、また途中の工程で錆の発生する心配もなくなり、鋼板の平坦度も良くなり安定した品質が得られるなど利点が非常に多い。

ステンレス鋼板焼なまし用の横形炉としてはカタナリ形の炉がある。カタナリ形は炉内にはローラやその他の材料支持物がなく、炉の入口および出口にあるロールの間を通過するうちに材料が炉内でカタナリ(懸垂曲線)

を描く。加熱方式としては直火式のものが多く焼なまし後酸洗いをして製品としている。

### 3.3 鋼管、鋼棒熱処理炉

鋼管や鋼棒は、引抜加工や圧延の加工硬化を除いたり用途に応じた機械的性質を与えるために焼なまし、球状化焼なまし、焼入れ、焼戻し、焼ならしなどの熱処理をする。

これらに使用する熱処理炉の炉形としてはローラハース形、ウォーキングビーム形、台車形などがあり必要に応じて直火式、ラジアントチューブ使用による間接加熱式を採用し適当な雰囲気ガスを送入する。

ローラハース形炉は厚板熱処理に使用する炉とまったく同じであるが、材料が丸いので炉の幅方向に転がりやすいためハースロールの両端にフランジをつけて材料が横に落ちないようにになっている。またウォーキングビーム形の炉は炉床が固定炉床と移動炉床からなっていて、移動炉床が上昇、前進、下降、後退の矩形運動、あるいは円運動をすることにより材料は間欠的に搬送される。

鋼管や丸棒のように断面の丸いものは安定がわるいので炉内で正しく位置決めするためと、材料に回転運動を与える理由から炉床が波形になつており、固定炉床より移動炉床へ、移動炉床から固定炉床へ材料がのりうつるごとに回転しつつ前進し、材料は均等に加熱されるので温度分布もよく、また曲がりを生じにくい。炉床部は水封してあり下部よりの外気の侵入と放熱を防いでいる。

そのほか台車形の炉も使用されるが鋼管、棒鋼の熱処理炉についての最近の問題点は他の同機種炉と同様公害に関する問題や自動化によるコスト削減がおもな問題となつて改善が進められていると考えられる。

### 3.4 線材熱処理炉

線材の熱処理炉としては大体次のような種類がある。

#### (1) パテンティング炉

鋼線を製造する場合中炭素鋼や高炭素鋼の線引き前あるいは中間に利用される熱処理炉で変態点以上に加熱したのち空中あるいは鉛浴、塩浴などで線を連続的に冷却して線引きしやすい組織にするための熱処理で現在使用されている炉はほとんど直火式ストランド形である。

#### (2) 球状化焼なまし炉

高炭素鋼あるいは低合金鋼の線引きまたはアプセット加工用鋼の炭火物を球形にするため加熱、冷却を行なう。すなわち  $A_1$  変態点以下の温度に長時間保持したり、 $A_1$  変態点付近を加熱、冷却を繰り返したり、あるいは  $A_1$  点または  $A_2$  点以上に加熱したのち、きわめて徐冷する方法などがとられている。一般に長時間を要するのでラジアントチューブ加熱式で雰囲気ガスを使用し無酸化

加熱する、トレープッシャ形、ローラハース形がある。

#### (3) ブルーイング炉

機械強度の向上と防錆の目的でおこなう直火式ストランド形の炉が使用される。

#### (4) 焼なまし炉

低炭素鋼線の線引き、中間焼なましまたは仕上げ焼なましの処理でベル形、ポット形、ローラハース形が使用される。

ストランド形線材熱処理炉というのはパテンティングやブルーイングに使用される。パテンティングの場合は火炎に直接線材がふれないように加熱し、加熱を終つた線材は太い線の場合は溶融鉛浴で冷却し、比較的細い線では空气中で放冷することによつてそれぞれ密なソルバイト組織を得る。ブルーイングは材料によつて異なるが比較的水蒸気の多い雰囲気中で  $350\sim 400^\circ\text{C}$  に短時間加熱している。

従来は球状化焼なまし炉や、焼なまし炉で連続式の雰囲気焼なまし炉には、トレープッシャ式が採用されていたが、この方式では機構上炉長が制限されるうえに被熱物搬送用のトレーを頑強にしなければならない。このため設備能力に限界があり、トレーによる熱損失が大きいのが欠点で、最近では設置される線材の連続式熱処理炉はすべてローラハース形に変つてきた。ローラハース炉における問題点は、ローラの回転を停止するとローラに曲りを生ずるので常時回転させねばならないこと、および炉内に爆発性の雰囲気を使用するのでトレープッシャ式のような材料の搬送が間欠式の場合は問題ないが、ローラを常時回転しているため材料の搬送が連続的であるので、前室および後室は被熱物の装入、抽出にさいして雰囲気ガスが直接外気に触れて汚染したり爆発するのを防ぐため特別な工夫がなされている。すなわち被熱物の装入、搬送、抽出は各種リミットスイッチ、電磁開閉器、時限継電器の組合わせによりすべて自動化されていて、炉内の被熱物の進行に伴い炉体入口側に被熱物を装入する空間が生ずると炉入口扉が開き、前室にある材料は炉内に装入され炉入口扉が閉じ、ついで前室扉が開き装入テーブル上に用意されていた被熱物が前室に装入されて前室扉が閉じる。以上の動作の反復により材料は自動的に炉内に装入される。

炉内で所定の熱処理を完了した材料が炉体出口に到達すると、炉出口扉が開き後室に送りだされ、ついで炉体出口扉が閉じ後室扉が開いて抽出テーブル上に抽出される。材料の装入、抽出は扉の開口時間を短かくして外気の炉内侵入をできるだけ少なくするため炉内の駆動と切りはなした別の駆動系により迅速に行なわれる。

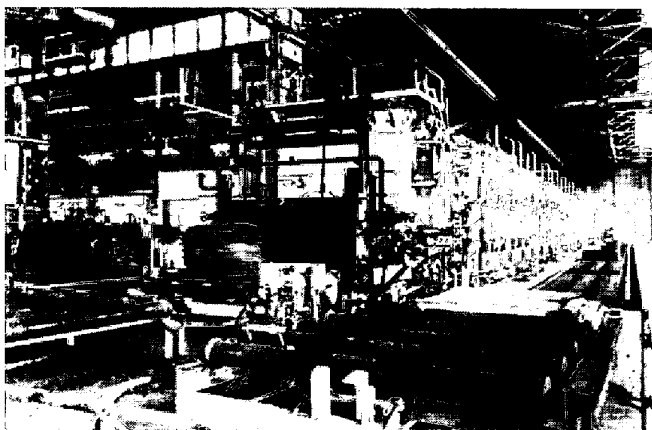


写真 2

写真 2 は最近の線材連続式雰囲気使用の熱処理炉を示す。

炉内の雰囲気ガスとして RX ガス, NX ガスおよび不活性ガスとして窒素または PX ガスを単独または混合して送気する。炉内のガス組成は赤外線分光分析計によつて連続的に測定記録している。この炉で炭素鋼, 強靱鋼, 炭素工具鋼, 軸受鋼などの特殊鋼線材の球状化焼なまし, 低温焼なましを行なっているが, 安定した炉内雰囲気と良好な温度分布のもとで組織, 機械的性質および脱浸炭の諸品質においてきわめて安定した良好な製品が得られている。

### 3.5 これからの熱処理炉

圧延材の熱処理炉といえども例外なく公害の問題, 省力の問題, 熱効率の向上によるコストダウンの問題などをはなれては炉の発展は考えられない。とくに油やガスを燃料とする燃焼炉においては燃焼プロセスから必然的に発生するばいじん, 硫黄酸化物, 窒素酸化物, 騒音など生活環境の保全を目的とした公害規制は日増しに強まっております。しかも工業炉は公害の発生源として質的転換をせまられている。とくに最近の傾向で燃料として重油は影をひそめ灯油, 軽油から大半はガスに移行しつつあり, 無公害燃焼炉の実現こそわれわれにかせられた最大

の使命であると考えます。

つぎに一般的な傾向として炉が大形化されてきたことである。この原因は生産量の増大によることは勿論であるが大形化によつて設備費も安くなり操業も容易となるという炉の使用者側の利点も数々あるが, そのほかに炉の性能が向上し, トラブルがなくなってきたことも見逃すことのできない大きな原因の一つである。また省力化は完全無人化という最終の目標にむかつてますます合理化されており, ロボット, コンピュータ, テレビなどの導入により炉の工程管理の省力が進み多数の炉を集中管理する群管理システムは現在ベル炉などではすでに実施されており, 今後はさらに多方面に応用されることになると思われる。

## 4. む す び

最近の加熱炉, 熱処理炉は, 以上に述べたように, その設備規模から, あるいは技術的レベルからみても, 世界の先端をゆくまでに進歩した。今後は, さらにその技術レベルを向上し, 同時に無公害設備の実現にますます努力しなければならない。

終わりに, 本稿作成に際して, ご協力を願った, 新日本製鉄, 川崎製鉄, 日本鋼管, 住友金属工業, 神戸製鋼所各社の関係各位に謝意を表します。

### 文 献

- 1) 日本鉄鋼協会編: 鉄鋼製造法, 第3分冊 (1972), p. 578 [丸善]
- 2) 日本鉄鋼協会編: 加熱炉の設計と実際 (1954) p. 75 [丸善]
- 3) 日本鉄鋼協会編: 鉄鋼生産設備能力算定方式, 鋼板編および条鋼編 (1968)
- 4) 日本鉄鋼協会編: 連続鋼片加熱炉における伝熱実験と計算方法 (1971)
- 5) 日本鉄鋼協会共同研究会: 熱経済技術部会第 48, 49 回資料より
- 6) 桑畑, 吉成: 鉄と鋼, 56 (1970) 5, p. 636~645